

*Куцин В.С.*

ПАО «Никопольский завод ферросплавов», г. Никополь

*Жаданос А.В., Деревянко И.В.*

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

*Alexjad@mail.ru, Ihorsic@meta.ua*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАРГАНЦЕВЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ**

В связи со спецификой физико-химических процессов производства марганцевых ферросплавов 90 % от общего объема пылегазовых выбросов составляет СО, который впоследствии в атмосфере окисляется до СО<sub>2</sub>. Поэтому решение проблемной задачи по снижению выбросов СО<sub>2</sub> актуально для ферросплавного производства и имеет межотраслевое значение в связи с обязательствами Украины, взятыми при подписании Киотского протокола. Здесь можно выделить две задачи: аудит эмиссии диоксида углерода при производстве марганцевых ферросплавов; сокращение эмиссии диоксида углерода за счет использования феррогаза в качестве энергоносителя при зажигании аглошихты.

Металлургические процессы и прежде всего производство ферросплавов отличаются широким разнообразием, и каждый из них имеет свою специфику. При этом алгоритмы расчета эмиссии СО<sub>2</sub> должны обеспечивать достаточно простую их интеграцию в АСУТП конкретного агрегата и предприятия в целом. В этом свете методологический и практический интерес представляют разработки авторов работы [1], которые классифицировали пять типов основных металлургических процессов по механизму эмиссии СО<sub>2</sub> и создали математические модели для их описания. При расчете объема эмиссии диоксида углерода при производстве марганцевых ферросплавов необходимо учитывать стадию агломерации марганцевого сырья и непосредственно этап выплавки ферросплавов.

Согласно [1] диоксид углерода в процессе агломерации образуется при окислении углерода топлива и выгорании углерода из исходных материалов. Однако в агломерируемой марганцевой руде содержание углерода невелико, и поэтому при расчетах этот фактор нами не учитывался. При производстве марганцевого агломерата используется как твердое, так и газообразное топливо. Твердым топливом для производства марганцевого агломерата являются коксик и частично антрацит. В качестве газообразно-

го топлива при зажигании аглошихты может использоваться либо природный газ или колошниковый газ ферросплавных печей – феррогаз. Так как феррогаз образуется в процессе выплавки марганцевых ферросплавов в рудовосстановительных печах, эмиссия  $\text{CO}_2$  за счет его образования в процессе агломерации не рассматривается, а учитывается на этапе выплавки марганцевых ферросплавов. С учетом этих условий модель для расчета эмиссии диоксида углерода в процессе агломерации марганцеворудного сырья в зависимости от применяемого газообразного топлива запишется так

$M_{\text{CO}_2, \text{агл}} = 3,667(C_{\text{тв.т}} \cdot M_{\text{тв.т}} + C_{\text{п.г.}} \cdot M_{\text{п.г.}})$  с использованием природного газа,

$M_{\text{CO}_2, \text{агл}} = 3,677C_{\text{тв.т}} \cdot M_{\text{тв.т}}$  с использованием феррогаза,

где  $C_{\text{тв.т}}$  – массовая доля углерода в коксике и антраците;  $M_{\text{тв.т}}$  – удельный расход твердого топлива, кг/т;  $M_{\text{п.г.}}$  – удельный расход природного газа, кг/т;  $C_{\text{п.г.}}$  – массовая доля углерода в природном газе.

Расчетами установлено, что использование феррогаза для зажигания топлива взамен природного газа в процессе агломерации марганцеворудного сырья позволило сократить эмиссию диоксида углерода на 12 кг/т агломерата.

Выплавка ферросиликомарганца и высокоуглеродистого ферромарганца ведется в высокомоощных рудотермических печах углеродотермическим процессом. В качестве восстановителя применяется кокс со средним содержанием углерода 83%. При выплавке ферросиликомарганца и высокоуглеродистого ферромарганца большая часть углерода кокса расходуется на восстановление оксидов, а часть его переходит в ферросплавы. Количество образовавшегося  $\text{CO}_2$  в этом случае может быть рассчитано по формуле [1]:

$$M_{\text{CO}_2, \text{РВП}} = 3,667 \cdot (C_{\text{в}} \cdot M_{\text{в}} - C_{\text{ф}} \cdot M_{\text{ф}})$$

где  $C_{\text{в}}$ ,  $C_{\text{ф}}$  – массовые доли углерода в восстановителе и ферросплаве соответственно;  $M_{\text{в}}$ ,  $M_{\text{ф}}$  – масса восстановителя и произведенного ферросплава, т.

Установлено, что при выплавке 1 т ФМн78 эмиссия  $\text{CO}_2$  составляет 992 кг/т (505 м<sup>3</sup>/т), а при получении 1 т МнС17 в атмосферу выбрасывается  $\text{CO}_2$  в количестве 1150 кг/т (585 м<sup>3</sup>/т). Суммарная эмиссия  $\text{CO}_2$  по технологической схеме агломерация марганцеворудного сырья – выплавка высокоуглеродистого ферромарганца и ферросиликомарганца в рудовосстановительных печах определяется из выражения

$$M_{\text{CO}_2, \text{ф}} = 3,667 \cdot [(C_{\text{в}} \cdot M_{\text{в}} - C_{\text{ф}} \cdot M_{\text{ф}}) + A \cdot (C_{\text{тв.т}} \cdot M_{\text{тв.т}} + C_{\text{п.г.}} \cdot M_{\text{п.г.}})],$$

где  $A$  – удельный расход марганцевого агломерата, т/т.

Таким образом, применение феррогаза вместо природного газа для зажигания топлива при агломерации позволяет снизить эмиссию  $\text{CO}_2$  при производстве ФМн78 на 24-31 кг/т (1,4-1,7%), а при производстве МнС17 на 19-26 кг/т (1,1-1,4%).

#### **Список источников**

1. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Математические модели косвенных оценок эмиссии  $\text{CO}_2$  в некоторых металлургических процессах // Сталь. 2011. № 8. С. 74–77.